

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ НОВЫХ ПРОЕКТОВ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ

Б.И. Крючков, В.М. Усов, М.В. Михайлюк

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, проф. В.М. Усов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Докт. физ.-мат. наук, профессор М.В. Михайлюк
(ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН)

В статье рассматривается проблема формирования профессионального опыта космонавтов в наземных условиях для перспективных проектов пилотируемых космических полетов с помощью многопользовательской виртуальной среды, которая выступает в качестве онлайн-инструмента организации коммуникации и управления оперативным взаимодействием космонавта с научно-педагогическим коллективом специалистов – экспертов различных смежных областей при формировании сценариев работы экипажа в условиях высокой неопределенности исходных данных будущих проектов.

Ключевые слова: перспективные проекты пилотируемых полетов, профессиональный опыт, сценарий деятельности экипажа, многопользовательская виртуальная среда.

Application of a Multi-User Virtual Environment for Simulating Operations for New Projects of Manned Space Flights.

B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, M.V. Mikhailyuk

The paper deals with the problem of obtaining professional experience by cosmonauts under the earth conditions in the interests of promising projects of manned space flights using a multi-user virtual environment as an online tool providing communication and control of an operational interaction between a cosmonaut and a scientific-pedagogical team of experts in various related fields when developing scenarios for the crew's activities under conditions of high uncertainty of the initial data in future projects.

Keywords: promising projects of manned space missions, professional experience, scenario of crew's activities, multi-user virtual environment.

Разработка перспективных пилотируемых космических проектов, и в их числе – освоения Луны, связана с необходимостью выполнения космонавтами ранее не встречавшихся в практике орбитальных полетов операций, что предполагает разработку моделей предстоящей деятельности экипажа с учетом условий ее реализации. Наиболее часто в этом случае прибегают к виртуальному прототипированию, поскольку этот способ допускает быстрое получение ответов на актуальные вопросы, а также последовательное

достижение приемлемого уровня реалистичности визуального воссоздания рабочей среды и разных способов построения человеко-машинного интерфейса.

На текущем этапе среднесрочного планирования космической деятельности построение модели деятельности экипажа в полном объеме затруднено большим числом трудно учитываемых факторов и наличием разнообразных, требующих дальнейшего уточнения и согласования подходов и мнений экспертного сообщества. Объективно обусловленная неполнота и неопределенность экспертных знаний о проектах полетов к Луне и планетам Солнечной системы вносит в устоявшуюся систему профессиональной подготовки космонавтов (ППК) дополнительные сложности в отношении выбора адекватных и соответствующих сложившейся ситуации методов и средств ППК.

Несмотря на то что отечественный опыт пилотируемых полетов безусловно свидетельствует в пользу сохранения базовых принципов и приоритетов ППК, актуален поиск новых подходов и технических средств, учитывающих качественно иные условия деятельности и новые виды полетных операций при освоении Луны по сравнению с орбитальными миссиями. Более того, поскольку большинство специалистов разделяет позицию о предстоящем качественном усложнении жизнедеятельности человека в перспективных проектах освоения Луны, имеются основания обратить повышенное внимание требованиям по разработке сценариев безопасной эксплуатации сложной космической техники.

Возможности формирования профессионального опыта космонавтов с помощью виртуального окружения

Особенности современного этапа проектирования перспективных проектов в связи с потребностями ППК

При разработке требований к системе ППК в преддверии стоящих перед пилотируемой космонавтикой новых задач обращают на себя внимание некоторые специфические трудности, затрудняющие прямой перенос ранее отработанных решений, которые применяются для обеспечения орбитальных полетов [1–4]. Для системы ППК следствием неопределенности и недостаточной глубины проработки проектов будущих миссий выступает неполнота знаний всего экспертного сообщества состава первоочередных для освоения полетных операций с участием экипажа, нормативных и методических документов по ним, что, в частности, приводит к отсутствию консенсуса у заинтересованных специалистов ряда смежных учреждений по вопросам активного участия космонавтов в качестве испытателей при выполнении новых операций.

В наибольшей степени отмеченные ограничения касаются состава операторских задач при возникновении непредвиденных и нештатных ситуа-

ций (НшС), хотя именно эта часть подготовки является определяющим фактором безопасности в новых миссиях с учетом динамического развития проектов.

Что касается субъективной стороны дела, то необходимо учитывать состав того контингента космонавтов, на которых в дальнейшем будут возложены эти сложные задачи. Начиная с 2017 года, завершилось несколько этапов открытого конкурсного (первичного) отбора кандидатов в космонавты, которым, возможно, предстоит реализовывать проекты освоения Луны. При переходе этого контингента к этапу «совершенствования и специализации космонавтов» должны быть созданы условия, которые позволят максимально оперативно приступить к специальным тренировкам, когда будут сформированы программы полетов и состав полетных операций новых миссий. Главный вопрос состоит в том, есть ли сегодня обучающие технологии, которые позволяют создать запас прочности в отношении обретения способностей адаптации к новой среде.

Как новую составляющую методологии, позволяющей обеспечить рост профессионализма космонавта, предлагается рассматривать упреждающее достижение психологической готовности и направленности на развитие «профессионального интеллекта», что дает членам будущих экипажей возможность овладеть большим набором теоретических знаний, образных представлений, обрести свойства предвидения и интуиции в русле общетехнической грамотности. Именно эти профессионально важные качества (ПВК) универсального плана будут безусловно необходимы в проектируемой деятельности при принятии решений в конкретных проблемных ситуациях.

Можно отметить, что на том этапе, когда не до конца уточнены средства и структура деятельности операторов, на какое-то время отступают на второй план задачи формирования высокоавтоматизированных навыков исполнительных действий в их традиционном понимании, фактически – до появления соответствующих технических средств подготовки – специализированных и комплексных тренажеров для завершающих этапов подготовки в составе экипажа.

Согласно существующим взглядам [3, 5], состав ПВК должен позволять профессионалу сохранять самообладание в сложной обстановке и при наличии объективных трудностей и помех для выполнения ответственных видов операций и задач брать на себя ответственные решения. В связи с этим необходимо:

- использовать различные универсальные ментальные средства, инструменты (способы, методы, приемы) достижения значимых для него целей (результатов);
- вести ориентировку в неопределенных, проблемных ситуациях посредством конструктивного взаимодействия с партнерами (другими членами экипажа), активно использовать современный приборный инструментарий для улучшения ситуационной осведомленности;

– инициативно, оперативно и самостоятельно решать возникающие проблемы, то есть справляться с ситуациями, для разрешения которых нет полного заранее известного и в полной мере отработанного комплекта средств и инструкций, а также, как правило, нет оперативной и своевременной поддержки извне;

– обладать стрессоустойчивостью и способностью сохранять хладнокровие при неожиданно возникающем осложнении обстановки, появлении признаков опасной ситуации, отказах техники;

– обладать способностью самоконтроля, чтобы не действовать импульсивно, оценивать обстановку в целом, вести учет времени и ресурсов, отсеивать непродуктивные гипотезы и отстраиваться от помех и др.

Одной из базовых посылок собственного исследования является положение о том, что для формирования профессионализма в наземных условиях возможно применение виртуальных сред в составе технических средств подготовки космонавта (ТСПК).

Этот подход позволяет использовать наработки когнитивных наук для формирования профессионального опыта у космонавта на основе цифровых моделей интегративного представления знаний, которыми владеет большой коллектив специалистов, ответственных за конечные итоги ППК. В определенном смысле, именно выраженная способность упорядочить и творчески освоить в своем качестве «готовности к профессии» огромный массив разнородных знаний о функционировании в трудных условиях жизнедеятельности заметно выделяет профессию космонавта из ряда подобных.

Прежде чем перейти к проблеме обретения профессионального опыта через виртуальные конструкции специального вида, необходимо кратко остановиться на характеристике и современных трактовках ряда родственных понятий, а именно: «виртуальных лабораторий», «виртуальных тренажеров», «моделирующих комплексов с виртуальным окружением» и др., применяемых для визуализации рабочей среды и предоставления пользователям возможности работать со сложным оборудованием так, как это происходит в реальной лаборатории и на реальном объекте. В определенном смысле это однопорядковые категории, и хотя они сформировались в разных ветвях наук о человеке – в педагогике, психологии, эргономике и др., но в главном своем качестве они базируются на сходном базисе программно-аппаратных и мультимедийных средств и предполагают иммерсивное погружение пользователя в виртуальную интерактивную среду. Исходя из этой отличительной характеристики, в данной работе предполагается, что многие вопросы проектирования и применения виртуальных сред для формирования профессионального опыта космонавта требуют их совместного анализа, так как в основном несложно выполнить их дополнительное разграничение по методологии применения.

Предназначение виртуальных сред в составе электронных ресурсов для подготовки специалистов

Имитационное обучение с использованием мультимедийных ресурсов является одним из перспективных направлений информатизации подготовки специалистов, а в более широком понимании национальных приоритетов – всей системы отечественного образования и подготовки кадров.

Задача имитационного моделирования в интересах формирования профессионализма предполагает такую модель подготовки специалиста, в которой посредством программного обеспечения виртуально воспроизводятся физические процессы и условия, аналогичные реальным, а обучаемому предоставляется возможность иммерсивного погружения в виртуальную среду, в которой воспроизводятся эти реальные процессы.

Первое условие такого моделирования – четкая формулировка ряда упрощающих и идеализированных предположений, состав которых зависит как от возможностей технических средств, так и от дидактических приемов выделения наиболее существенных свойств и отношений объектов в виртуальном мире с точки зрения онтологии предметной области знаний.

Второе обязательное условие – возможность интерактивного взаимодействия обучаемого с виртуальной моделью на уровне управления объектами или активным воздействием на протекание того или иного физического процесса, что, как правило, существенно влияет на получение и усвоение знаний человеком о реальных явлениях и закономерностях.

Другими словами, «сценарии взаимодействия человека с виртуальным окружением» правомерно рассматривать как специфическую разновидность воплощения совокупных знаний экспертов о тех компетенциях, которые могут быть освоены посредством имитационного моделирования, что позволяет передать их обучаемому через практический опыт его взаимодействия с виртуальной реальностью. Это один из наиболее обсуждаемых в настоящее время эффектов иммерсивных обучающих сред [6, 7].

Сегодня признается, что возросшие ожидания общества от способов дистанционного электронного обучения предъявляют новые требования к формам и способам организации электронных образовательных ресурсов, одним из видов которых являются «виртуальные лаборатории» и «виртуальные тренажеры» [8, 9].

Большинством авторов виртуальные лаборатории рассматриваются как «аппаратно-программные комплексы с дистанционным (удаленным) доступом, предназначенные для имитации процессов, протекающих в изучаемых реальных объектах» [10].

В этом можно проследить определенное сходство с моделирующими комплексами на базе виртуальной реальности, что в контексте задач обучения может не иметь принципиальных отличий в техническом исполнении, но при этом нести разную методическую направленность применения на практике.

Виртуальную лабораторию можно также определить как программно-аппаратный комплекс (ПАК), который позволяет проводить опытно-экспериментальные действия в трех основных вариантах [11]:

а) без непосредственного контакта с реальным лабораторным оборудованием;

б) при отсутствии такового оборудования на виртуальном полигоне;

в) при комбинированном применении реальных средств управления экспериментом и виртуальной модели физического процесса и возможности визуального представления результатов в масштабе реального времени.

В подготовке космонавтов известны варианты использования виртуальных лабораторий для подготовки членов экипажей к выполнению целого ряда космических экспериментов (КЭ) на МКС.

Эти виды ПАК построения элементов виртуального окружения могут применяться в подготовке космонавтов для:

- 1) ознакомления с техникой выполнения экспериментов;
- 2) ознакомления с оборудованием, с которым придется работать;
- 3) освоения навыков наблюдений, составления отчетов.

Виртуальные лаборатории позволяют: визуализировать процессы и явления на экране компьютера; моделировать процессы, протекание которых в реальных условиях принципиально невозможно; наблюдать процессы и явления в другом масштабе времени, ускоряя и замедляя процесс их протекания [12].

Немаловажным преимуществом виртуальных лабораторий является их безопасность, особенно в случаях, связанных с опасными условиями протекания экспериментов. Управление виртуальными процессами компьютером дает возможность быстрого проведения серии опытов с различными входными и выходными параметрами, что часто является необходимостью при определении зависимости между ними.

Здесь можно отметить, что в случае подготовки специалистов-исследователей в литературе чаще используется терминология «виртуальных лабораторий», в то время как при подготовке специалистов-испытателей и/или операторов эргатических систем общепринятыми понятиями являются тренажеры (в том числе виртуальные, мультимедийные, видео и др.) и имитационно-моделирующие стенды, в состав которых включаются системы виртуального окружения (СВО).

Однако потенциал всех видов ПАК, построенных с применением виртуальной реальности, не исчерпывается работой обучаемого с уже готовыми решениями, в том числе, в области космической техники, так как степень активного участия может существенно варьироваться от усвоения нормативов эксплуатации оборудования и приборов до отработки новых рациональных способов человеко-машинного взаимодействия. В частности, эргономическое проектирование новой техники предполагает акцент на сравнительное исследование вариантов построения системы управления и аппаратных

средств интерфейса оператора, то есть необходимы сценарии применения, относительно которых можно выстроить систему предпочтений тех или иных конфигураций взаимодействия «человек–техника».

Имеется ряд публикаций, в которых обсуждаются вопросы обучения персонала сложных производств и современных подходов к использованию тренажерных средств, в том числе построенных на технологиях виртуальной реальности, в качестве средств подготовки оперативного персонала эргатических систем [6, 7, 13–15]. Не меньшая роль отводится виртуальным тренажерам при отработке сценариев решения тактических задач, а также при изучении условий возникновения НшС [9, 16].

Можно согласиться с авторами цитированных работ в том, что, исходя из сценарного подхода к представлению эмпирических знаний, виртуальный тренажер, с одной стороны, является «потребителем» (реципиентом, аккумулятором) предметных знаний экспертов (именно они закрепляются в сценарии моделирования искусственного мира и правилах взаимодействия с его объектами в составе принятой онтологии), а с другой – источником новых знаний о рациональном поведении человека, воспроизводимого в условиях виртуального мира, в котором на искусственной основе осуществляется цифровой синтез объектов и устанавливаются между ними отношения по содержательным законам реального мира (с определенным уровнем идеализации в зависимости от детальности проработки онтологии и уровня развития цифровых технологий).

В частности, на практике не всегда удается реалистично воспроизводить все виды физического взаимодействия, исходов коллизий объектов в среде, реакций на действия человека и др., но, как показывает история развития мультимедиа и пакетов 3D-моделирования, постепенно многие ограничения технического порядка удается преодолевать.

В цитируемой работе [9] наиболее важные черты, сближающие концепции виртуального тренажера, построенного на принципах разработки тактических сценариев и виртуальных лабораторий, относят к сходству дидактических и когнитивных требований к этому виду ПАК, а также использования возможностей мультимедиа технологий для иммерсивного погружения, что позволяет использовать при накоплении профессионального опыта, используя преимущества искусственно созданного мира, который в познавательном отношении имеет для обучаемого более удобную и безопасную, по сравнению с реальным миром, организацию, направленную на воспроизведение в главных чертах процессов передачи, восприятия и осознания информации человеком.

При этом на концептуальном уровне описание искусственного мира может иметь разные формы и подходы, поскольку этот аспект воплощения сценариев в формализованные модели существенным образом связан с теорией искусственного интеллекта и представления экспертных знаний. Одновременно следует принимать во внимание психологические факторы формиро-

вания регулярного образа у обучаемого и когнитивных навыков для выработки рационального поведения в слабо структурированной среде, в которой человеку важно обладать способностями антиципации, предвидения, развитой интуиции.

Во многих работах по методологии построения виртуальных тренажеров и лабораторий неявно предполагается, что лидирующие позиции в построении коммуникации и управлении ходом вычислительных экспериментов, безусловно, отданы экспертной группе, которая должна достаточно полно и в практически завершенном виде выстроить сценарную основу для применения этих средств.

При формировании профессионального опыта обучаемого на искусственных моделях деятельности его творческие возможности ограничены тем, что виртуальный тренажер может быть преимущественно «информационным посредником» при передаче знаний от экспертных групп обучаемому. В более продвинутом варианте в сценарии требуется предусматривать механизм, позволяющий сигнализировать, какого рода трудности человек испытывает в процессе восприятия ситуации и принятия решений, и предоставлять ему возможность проверки альтернативных вариантов произошедших событий и запроса дополнительной информации (из доступных в контексте ситуации информационных источников, причем также в визуальном представлении).

Заметные отличия методологии использования виртуальной лаборатории приводит постановка задачи накопления космонавтом опыта участия в разработке сценариев применения новых технологий и технических средств для освоения Луны и распределения функций в человеко-машинных системах при решении задач в различных условиях пилотируемых полетов.

В этом случае необходимо говорить о создании многопользовательской среды, в которой создаются условия интеграции междисциплинарных знаний посредством обмена исходными данными между заинтересованными специалистами, выдвижения вариантов построения сценариев экспериментов и испытаний, достижения консенсуса относительно выбора базового сценария и его реализации для испытаний с участием космонавта. Фактически этот путь отражает в упрощенном виде способ прототипирования новых решений с применением дружественного окружения виртуальной лаборатории для совместной работы заинтересованных специалистов над проектом, критерием зрелости которого выступает понимание космонавтом, каким образом он будет решать поставленную задачу и насколько удобны для этого предлагаемые инструменты взаимодействия со средой и объектами управления (что проверяется в их виртуальном воплощении). Что касается участия космонавта, в этой роли у него появляются новые возможности пополнения профессионального опыта решения испытательных задач, развития когнитивных способностей адаптации к непривычным условиям и ситуациям слабо структурированной среды.

Иммерсивные виртуальные среды для формирования профессионального опыта космонавта в наземных условиях

Поскольку в силу специфики осваиваемой космонавтом предметной области существуют объективные трудности помещения человека в реальную физическую среду, которая обладает всеми требуемыми свойствами воздействий на психику и организм человека, как отмечалось выше, на помощь приходят технологии иммерсивного погружения в виртуальную среду [6, 7].

Как отмечается в работах ряда авторитетных специалистов в области эргономики [6, 17], технологии VR уже получили широкое распространение в области тренинга определенных навыков, таких, например, как управление транспортными средствами, летательными аппаратами, роботами и т. д.

Сегодня этим не ограничивается сфера их применения. Совершенствование технологий VR открывает новые направления применения для формирования так называемых когнитивных навыков [18, 19].

Эти навыки являются базой для адаптивного поведения в незнакомой среде и усложненной обстановке. Применительно к перспективным проектам освоения Луны сегодня представляется правомерным говорить о формировании на основе когнитивных навыков «профессионального опыта человека» в виртуальной среде через активное взаимодействие с объектами виртуального окружения в рамках предустановленных учебно-познавательных сценариев, которые отражают наиболее значимые закономерности того реального мира, с которым космонавтам придется иметь дело, что, несомненно, облегчит не только эмоциональное восприятие необычных феноменов, но и дает представление о типовых поведенческих схемах, рациональных с точки зрения снижения рисков.

Здесь, следуя работе [20], акцентируется внимание на таком погружении человека в виртуальное пространство, которое позволяет ему упорядочить свои представления о диапазоне своих поведенческих реакций в рабочей среде, а также в определенных пределах участвовать в конструировании компьютерно синтезированного пространства, которое становится для него «альтернативным жизненным миром» и на раннем этапе подготовки главным источником пополнения профессионального опыта.

Эта творческая познавательная активность испытателей сопровождается информационной поддержкой со стороны тех экспертов предметной области, на основе знаний которых формируются динамически изменяемые сценарии человеко-машинного взаимодействия, дизайн объектов и их свойства, а также строится онтология виртуального окружения в целом.

В практическом отношении использование технологий VR на указанных принципах погружения требует применения разных программных инструментов, интегрированных в единую систему информационной поддержки [21].

Совокупность инструментов на основе VR расширяет методические возможности 3D-моделирования и визуализации для инициирования и актива-

ции у обучаемого «ментальной продукции» как основы приобретаемого профессионального опыта функционирования в непривычной рабочей среде.

В числе основных инструментов в работе [20] предлагается рассматривать следующие:

- перевод сценария из привычной (для преподавателей и методистов обучения) вербальной описательной формы в формализованные конструкции, допускающие интерактивное взаимодействие обучаемого с мультимедийным контентом;

- создание мультимедийного контента и построение на его основе 3D-визуального представления, позволяющего вести наблюдение объектов рабочей среды с разных ракурсов, в разном удалении;

- построение виртуальных объектов по заранее сформированным спецификациям и с учетом систем управления ими оператором;

- дизайн мультимодальных интерфейсов оператора с управляемыми объектами;

- создание средств модификации сценария и объективного контроля активности оператора в виртуальном окружении и, при необходимости, генерации сообщений и/или команд для управления ходом эксперимента (а в конечном итоге – обучения по итогам освоения зернообразных сценариев).

Тем самым, правомерно говорить о возможности обретения опыта в виртуальном окружении на основе трехкомпонентной модели реальности, которая интегрирует в своем составе:

- «экзогенно вызванную реальность» (ВР), рассчитанную на зрительное восприятие информации, порожденной цифровыми технологиями имитации с помощью синтеза и визуализации 3D-сцен на компьютере с помощью мультимедийных устройств;

- «настоящую (физическую) реальность», в которой человек присутствует объективно, физически, и которую воспринимает привычным образом своими органами чувств, когда удается какие-то фрагменты деятельности или какие-то отдельные факторы полета воспроизвести на моделирующих стендах;

- «эндогенно вызванную реальность» (англ.: Self-Evoked Reality) как реальность, продуцируемую высшими психическими процессами [22].

Согласно современным трактовкам, «когнитивный опыт» – это ментальные структуры, которые обеспечивают хранение, упорядочение и преобразование наличной и поступающей информации, способствуя тем самым воспроизведению в психике познающего внешний мир субъекта устойчивых, закономерных аспектов его окружения [23].

Как отмечается в работе [24], использование виртуальных тренажеров позволяет выработать устойчивые навыки работы в ситуациях, которые сложно либо невозможно воспроизвести в ходе обычной подготовки, и провести обучение всего задействованного в имитационном эксперименте персонала для отработки действий обучаемого в НшС, поскольку при исполь-

зовании виртуального представления значительно проще, чем это удается сделать в реальной физической среде, продемонстрировать эффекты взаимодействия и научить безопасным приемам выполнения операций с учетом выявленных рисков человеческого фактора.

Модель представления знаний в виде сценария

Особую роль в системах представления знаний играют так называемые стереотипные знания, описывающие стандартные ситуации реального мира. Такие знания позволяют восстанавливать информацию, пропущенную в описании ситуации, предсказывать появления новых фактов, которых можно ожидать в данной ситуации, устанавливать смысл происхождения события с точки зрения ситуативного контекста [25].

Для описания стереотипного знания используются различные модели. Среди них распространенными являются сценарии, трактуемые как разновидность модели знаний. Согласно работе [25], «сценарием называется формализованное описание стандартной последовательности взаимосвязанных фактов, определяющих типичную ситуацию предметной области. Это могут быть последовательности действий или процедур, описывающие способы достижения целей действующих лиц сценария».

Каждая последовательность действий в сценариях обладает свойством «каузальных» цепочек: всякое предшествующее действие создает условия для совершения последующего действия. Если отталкиваться от такой трактовки, то естественно выбрать для формализованного сценария представление в виде некоторой сети, вершинам которой соответствуют факты, а дугам – связи, описывающие отношения специального типа. В частности, для формализации такого рода знаний известны достаточно многочисленные примеры реализаций, когда используется математический аппарат сетей Петри, а для динамической настройки сценариев виртуальных лабораторий и тренажеров – программные средства визуального редактирования [26–28].

В работе [29] отмечается, что построение сложных сценариев работы систем на базе VR обусловлено, с одной стороны, сложностью решения комплекса задач для обеспечения высококачественного координированного взаимодействия всех компонент современных эргатических систем в различных режимах и ситуациях, с другой стороны, требованиями реализации для различных пользователей только необходимых фрагментов визуализации VR в зависимости от соответствующих режимов, состояний и ситуаций [30, 31].

В этой связи ключевым этапом, от которого зависит достигнутая адаптивность виртуального тренажера к потребностям пользователя, является проектирование сценария. Для разработчика, который в общем случае не обязан быть специалистом в конкретной предметной области, является достаточно сложным и трудоемким обеспечение пользователю простого, удобного и «дружественного» интерфейса с виртуальным окружением в процессе проектирования, программирования и возможной последующей модифика-

ции детального сценария работы пользователя в контуре взаимодействия с виртуальным тренажером.

Методический подход, ориентированный на сценарии, в которых тонко учитываются потенциальные запросы пользователей, представлены все основные режимы управления динамическим объектом и зависимости состояния объекта от факторов внешней среды, позволяет говорить о возможности реализации на виртуальном тренажере ситуационно-поведенческих моделей. Именно эти возможности определяют преимущества виртуальных тренажеров в отношении формирования когнитивных навыков и достижения готовности оператора к адекватному реагированию на угрозы при возникновении НшС [29, 32].

Моделирование сценариев выполнения полетных операций в многопользовательской виртуальной среде как форма обмена знаниями и накопления профессионального опыта

В настоящее время в пилотируемой космонавтике широко используются высокотехнологичные тренажерные системы для отработки решения различных профессиональных задач, которые выполняются экипажем в орбитальных миссиях на МКС. Все большее место среди них занимают ТСПК со средствами виртуальной реальности (VR), которые часто обозначаются термином «виртуальное окружение» (VO).

Имеющиеся примеры моделирующих стендов для отработки предстоящей деятельности включают подсистемы, реализующие предустановленные сценарии выполнения экипажем конкретных работ. Существенную часть сценариев составляют знания экспертов, которые, в соответствии с технологией создания имитационных моделей, разрабатываются и сопровождаются специалистами разных предметных областей. Тот факт, что коллектив, участвующий в разработке систем такого класса, включает специалистов разного профиля, накладывает ограничения и сложности на процесс разработки, приводя к необходимости организации их совместной работы в удаленном доступе в многопользовательском режиме работы над общим проектом системы обучения.

В качестве примера такой постановки вопроса можно сослаться на работу [33].

Цель такого объединения усилий экспертного сообщества – не только повысить оперативность внесения изменений в проект (по мере уточнения деталей) и скорейшее достижение консенсуса в условиях неполноты и неопределенности исходных данных, чтобы достичь максимального правдоподобия и избежать грубых ошибок, но также в наибольшем объеме способствовать включению в процесс активного участия самих космонавтов как конечных потребителей продукта. Этим повышается роль и ответственность космонавтов, компетентность которых определяется в значительной степени тем профессиональным опытом, которые они получают на Земле

участием в самых разных испытаниях систем. Более того, наряду с формированием опыта поведения в проблемных ситуациях, требующих когнитивных навыков, у космонавтов появляется возможность активно поучаствовать в разработке онтологии предметной области обучения в виртуальной среде, что в наибольшей мере отвечает цели формирования целостного представления о том, какими средствами достигается погружение в ВР и какие достоинства и ограничения имеет эта методология в сравнении с натурными испытаниями.

Существует ряд проблем технического характера при построении многопользовательской среды для виртуального тренажера, для которых в настоящее время предложены достаточно эффективные решения, и в этом отношении космические тренажеры всегда отвечали современным требованиям к построению распределенных сетей и единой вычислительной системы на базе разнотипных тренажерных средств подготовки космонавтов [33].

Применительно к постановке задачи данной статьи достаточно сложные проблемы связаны с интеграцией в единый ПАК систем управления знаниями, представленными формализованными сценариями, и систем для иммерсивного погружения, который должен функционировать в многопользовательской среде.

К настоящему времени накоплен позитивный опыт построения комплексов на базе технологий ВР для моделирования отдельных видов деятельности экипажа [34–36]. Типовой состав программного обеспечения для решения задач 3D-моделирования и визуализации сложных динамических изображений достаточно подробно представлен в публикации [37].

Оценивая пригодность этих ПАК как прототипов для организации совместной работы космонавтов (исследователей и испытателей новой техники) с представителями экспертной группы для конструирования сценария будущей деятельности, можно констатировать, что многие ранее созданные подсистемы моделирования и визуализации могут быть внедрены в новую конфигурацию ПАК многопользовательской виртуальной среды, о которой идет речь.

В этой связи остановимся более подробно на вопросах формализованного сценария, отталкиваясь от его представления в декларативной форме.

По большей части для обмена необходимыми исходными данными экспертами используются так называемые декларативные описания фрагментов сценария и событий, которые в соответствии с обновленной онтологией предметной области необходимо перевести в формализованные конструкции. По своей сути такие конструкции наиболее сильно тяготеют к области методов извлечения экспертных знаний, формализации эмпирических знаний в системах искусственного интеллекта, интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Практические решения в области построения таких формализованных конструкций известны, их обзор можно найти в работах [38–39].

Следуя работе [38], перечислим основные характеристики и компоненты ПАК, ориентированного на воплощение в формализованном сценарии для систем на базе СВО знаний специалистов предметных областей:

1) выделение экспертных знаний в отдельную компоненту, которую разрабатывают и сопровождают эксперты предметной области с помощью структурного редактора, управляемого онтологией виртуальной среды;

2) поддержка коллективной разработки за счет того, что инструментальный комплекс реализован как набор облачных сервисов;

3) декларативное описание всех компонентов программного средства с последующей интерпретацией декларативной модели;

4) возможность подключения к интерпретатору дополнительных агентов, расширяющих его функциональность;

5) реализация непосредственно интеллектуальной системы с виртуальной реальностью также в виде облачного сервиса.

В большом числе публикаций обсуждается выбор математического описания сценария и, как отмечалось выше, предлагается формализация сценария и в виде графового представления, в частности, с помощью сетей Петри [40–41].

Простое представление системы сетью Петри основано на двух основополагающих понятиях: событиях и условиях. События – это действия, имеющие место в системе. Возникновением событий управляет состояние системы. Состояние системы может быть описано множеством условий. Условие – предикат или логическое описание состояния системы. Условие может принимать либо значение «истина», либо значение «ложь».

В этом механизме события взаимодействуют с условиями, а условия взаимодействуют с событиями. Такая относительно простая модель позволяет для решения задач и моделирования представить структуры систем из элементов двух типов – событий и условий. Для того, чтобы событие произошло, необходимо выполнение соответствующих условий. Эти условия называются предусловиями события. Возникновение события может вызвать нарушение предусловий и может привести к выполнению других условий, постусловий.

В многопользовательской системе участникам предоставляются разные полномочия влияния на события искусственного мира. В частности, операторы могут посредством органов управления менять состояние объекта управления, операторы из состава экипажа могут давать новые информационные сообщения партнерам в ходе выполнения операций (например, в ситуациях обнаружения признаков НшС), эксперты (из инструкторско-преподавательского состава) могут влиять на состав доступной экипажу информации, а также на состояние объекта (вводные по НшС). Кроме того, надо принимать во внимание то обстоятельство, что в реальном мире действуют физические законы, и при имитации могут быть встроенные сценарии, когда никто из состава пользователей уже не может повлиять на ход событий,

и такие ситуации сети Петри позволяют воспроизводить. Это тоже полезно для повышения наглядности тех или иных исходов событий, связанных с человеческим фактором.

В заключение приведем условную схему, которая показывает, каким образом существующее программное обеспечение СВО можно адаптировать к многопользовательским режимам применения. Для этого еще раз обратимся к результатам работы [33].

В соответствии с приведенной в этой публикации методикой при разработке многопользовательских систем виртуальной реальности основными этапами процесса являются представленные на рисунке 1 этапы создания клиентской и серверной частей.

Сделаем следующие естественные предположения о составе СВО.

Система виртуального окружения (СВО) состоит из 3D-виртуальной сцены (3DS), подсистемы управления (пульт управления и функциональная схема расчета управляющих сигналов) – (CS), подсистемы динамики (DS) и подсистемы визуализации (VS).

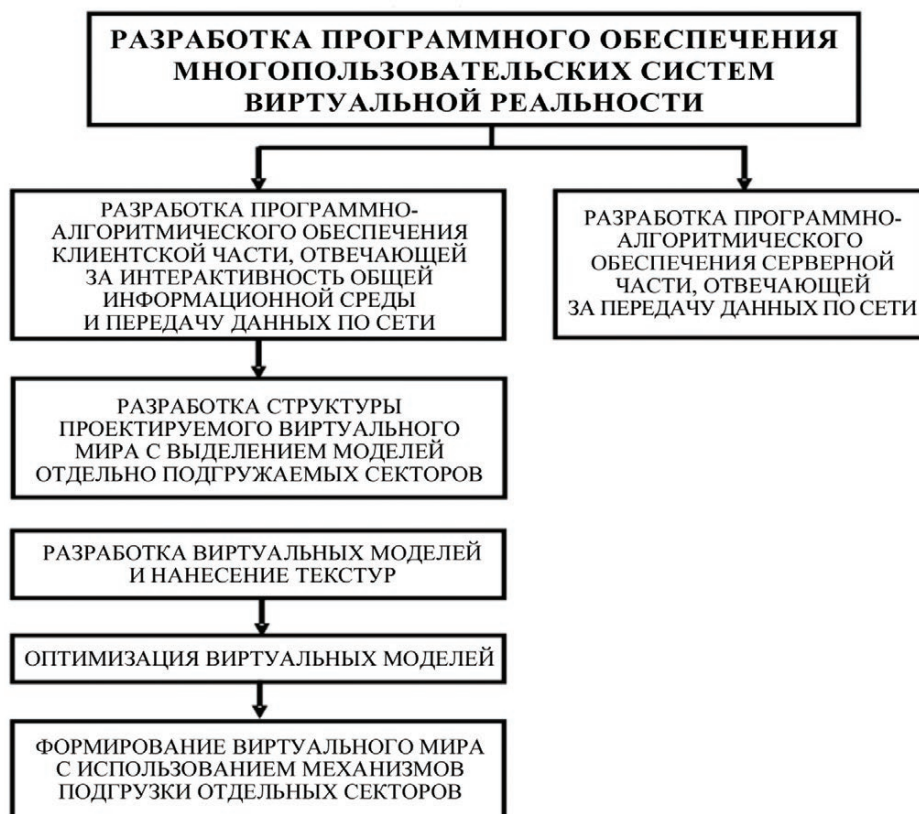


Рис. 1. Основные этапы разработки многопользовательских систем виртуальной реальности для сетевых приложений (воспроизводится по [33])

В многопользовательском варианте построения надо обеспечить совместную работу следующих компьютеров-агентов:

- компьютер оператора (тренирующегося); он должен включать все составляющие;

- компьютер инструктора (контролера); этот пользователь не управляет объектами виртуального мира и поэтому должен включать 3DS и средства управления камерой наблюдения и средства контроля качества выполнения задания оператором; для простоты предположим, что один инструктор следит за работой только одного оператора;

- руководитель тренировки; он в соответствии со сценарием задает сцену, ставит задачу и по ходу может менять некоторые параметры сцены; также он может наблюдать за каждым оператором путем переключения; для этого он включает 3DS и средства задания параметров и переключения на операторов.

Необходимо сделать несколько принципиальных замечаний, вытекающих из сделанных посылок о составе и конфигурации такой многопользовательской СВО. В частности, описанная многопользовательская СВО имеет некоторые особенности, которые не позволяют использовать топологии сетей, хорошие для других приложений:

- в каждом компьютере-операторе просчитывается динамика объектов сцены, результаты которой должны передавать всем по информационному протоколу (ведь сцена общая); поэтому во избежание конфликтов операторы не могут действовать одновременно; действия каждого должны учитывать действия, которые были сделаны другими до его действий.

- каждый должен видеть результаты действий всех агентов, меняющих параметры объектов сцены;

- руководитель должен быть представлен в системе во всех режимах ее эксплуатации и проектирования, так как он определяет сцену и ставит задачу оператору (тренируемому).

Отсюда следует топология, представленная на упрощенной схеме рисунка 2.

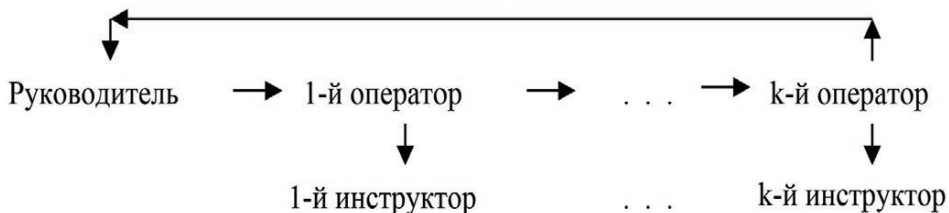


Рис. 2. Принципы передачи информации многопользовательской СВО с помощью специального сетевого протокола

На этой схеме стрелки указывают передачу информации по сети. Из схемы следует, что для каждого шага моделирования действия 1-го оператора (на этом шаге) передаются 2-му оператору и 1-му инструктору, 2-й оператор на этом же шаге видит и работает со сценой, в которой уже отображены действия первого оператора. Его действия в свою очередь передаются по сети 3-му оператору и 2-му инструктору и отображаются на их экранах (в их сценах) и т.д. Результаты действий всех операторов передаются в сцену руководителя. Поскольку предполагается, что время каждого шага моделирования очень мало (например, 10 мсек.), то у каждого участника совместного организуемого процесса будет восприятие постоянной включенности в масштабе реального времени.

На самом деле для построения приведенного сетевого протокола приняты достаточно жесткие предположения на начальную конфигурацию системы, но даже при таких упрощающих посылках есть реальная проблема подключения новых и отключения уже работающих операторов и инструкторов в процессе работы, так как в любой текущий момент времени всем участникам передаются только параметры, изменившиеся на данном шаге моделирования. Это означает необходимость дальнейших исследований как по теме построения сценария совместно выполняемых экспериментов участниками с разными ролевыми функциями, так и по характеристикам ПАК и моделирующих программ для сетевого исполнения.

Выводы

Вызовы, возникшие при формировании среднесрочных планов космической деятельности, дают основание для поиска новых методов подготовки, которые будут адекватны ближайшему этапу разработки проектов пилотируемых полетов освоения Луны.

Продемонстрированный возможный (на современном уровне технологий моделирования) путь освоения базовых компетенций с использованием многопользовательских виртуальных тренажеров является логическим продолжением существующей методологии подготовки космонавтов, но несколько иначе расставляет приоритеты ввиду особенностей текущего этапа разработки проектов освоения Луны и раннего привлечения космонавтов к разработке этих проектов как важнейшего условия ускоренного формирования профессиональной готовности космонавта для исследований и испытаний в условиях возросшей автономности новых миссий.

В определенном смысле можно говорить о возросших возможностях виртуального прототипирования для формирования в виртуальном окружении профессионального опыта специалиста опасной профессии. Однако это обстоятельство предъявляет новые требования к организации совместной работы экспертов разных предметных областей и к их заинтересованности в трансформации знаний на качественно новый уровень формализованных

интерактивно формируемых и обновляемых сценариев для виртуальных тренажеров. При таком условии может резко возрасти отдача от современных технологий иммерсивного погружения космонавта в новую искусственную реальность, отличающимся признаком которой является не только высокая реалистичность, но и пластичность – свойство подстраиваться под потребности формирования у космонавта когнитивных способностей освоения новой необычной среды, с которой ему предстоит столкнуться при освоении Луны.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Крикалёв С.К. Становление и развитие отечественной системы отбора и подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 1(1). – С. 5–18.
- [2] Отбор космонавтов: опыт и прогнозы / Крючков Б.И., Харламов М.М, Курицын А.А., Усов В.М. // Воздушно-космическая сфера. – 2018. – № 2(95). – С. 97–108.
- [3] Исторические аспекты развития системы отбора космонавтов / Курицын А.А., Крючков Б.И., Маленченко Ю.И. // ИИЕТ имени С.И. Вавилова РАН. Годичная научная конференция (2018). – М.: Янус-К, 2018.
- [4] Отбор кандидатов в космонавты 2017 года [Электронный ресурс] // ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». URL: [http:// www.gctc.ru/main.php?id=3736](http://www.gctc.ru/main.php?id=3736) (Дата обращения: 20.04.2018).
- [5] Ворона А.А., Гандер Д.В., Пономаренко В.А. Теория и практика психологического обеспечения летного труда (под общей ред. В.А. Пономаренко). – М.: Воениздат, 2003. – 280 с.
- [6] Сергеев С.Ф. Эргономические проблемы проектирования интерфейса на базе индуцированных виртуальных сред // Мир Авионики. – 2006. – № 3. – С. 62–67.
- [7] Сергеев С.Ф. Введение в инженерную психологию и эргономику иммерсивных сред: Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 258 с.
- [8] Ликсина Е.В., Бершадская Е.Г. Автоматизация процесса разработки виртуальных лабораторий. Научное обозрение // Педагогические науки. 2019. № 3–2. С. 28–30; [Электронный ресурс]. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1949> (дата обращения: 14.04.2020).
- [9] Филатова Н.Н., Вавилова Н.И. Проектирование мультимедиа тренажеров на основе сценарных моделей представления знаний // Образовательные технологии и общество. 2000. Том 3. № 4. С. 193–202. [Электронный ресурс]. URL: [https:// cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-multimedia-trenazherov-na-osnove-stsenarnyh-modeley-predstavleniya-znaniy](https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-multimedia-trenazherov-na-osnove-stsenarnyh-modeley-predstavleniya-znaniy) (дата обращения: 14.04.2020).
- [10] Инфраструктурное обеспечение виртуальных лабораторных практикумов для междисциплинарных образовательных программ в рамках концепции облачных вычислений / Болгова В.В., Богачева А.В., Духанов А.В., Князьков К.В., Бухановский А.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 92.
- [11] Ковалев Г.И., Карауш С.А. Вариативность использования учебных материалов при дистанционном проведении лабораторных работ // Открытое и дистанционное образование. – 2015. – № 3(59). – С. 10–15.

- [12] Юдина Л.В., Бершадская Е.Г. Использование технологий дополненной реальности в программной инженерии // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–1. – С. 95–96.
- [13] Трухин А.В. Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем // Открытое и дистанционное образование. – 2008. – № 1. – С. 32–39.
- [14] Трухин А.В. Об использовании виртуальных лабораторий в образовании // Открытое и дистанционное образование. – 2002. – № 4(8). – С. 81–82.
- [15] Проблемы профессиональной подготовки операторов лесных машин / Курасов П.А., Глазырин А.Е., Танрывердиев И.О., Таран А.В., Петухов И.В. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. – № 3(39). – С. 50–59.
- [16] Сенчук Д.В. Перспективы разработки сценариев для виртуальных тренажеров // Материалы XIII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019). г. Москва, 17–20 июня 2019 г. – С. 311–314.
- [17] Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы / Зинченко Ю.П., Меньшикова Г.Я., Баяковский Ю.М., Черноризов А.М., Войскунский А.Е. // Национальный психологический журнал. – 2010. – № 2(4). – С. 64–71.
- [18] Kotsilieris T., Dimopoulou N. The Evolution of eLearning in the Context of 3D Virtual Worlds // Electronic Journal of eLearning. 2013. V. 11. Issue 2. p. 147.
- [19] Развитие когнитивных навыков с помощью технологий виртуальной реальности / Аверин В.А., Маликова Т.В., Кириллов Д.С., Земских Ф.В. // Вестник СПбГУ. Психология и педагогика. – 2017. – Т. 7. – Вып. 2. – С. 154–168.
- [20] Кузьмина А.С. Анализ зарубежных исследований опыта человека в среде виртуальной реальности // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 102–112.
- [21] Abdoli-Sejzi A. (2015). Augmented Reality and Virtual Learning Environment. // Journal of Applied Science Research (JASR). No 11. pp. 1–5.
- [22] Pillai J.S., Colin T.A. [et al.]. “Achieving Presence through Evoked Reality.” // Front. Psychol. (2013). DOI:10.3389/fpsyg.2013.00086. Corpus ID: 5097474.
- [23] Холодная М.А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 334 с.
- [24] Подход к моделированию нештатных ситуаций с использованием виртуального тренажера для обучения персонала / Мишенков Е.А., Малышев А.А., Кулагин А.В., Сагун Д.Ю. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – № 4(16). – С. 99–110.
- [25] Спицын В.Г., Цой Ю.Р. Представление знаний в информационных системах: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 146 с.
- [26] Матлин А.О., Фоменков С.А. Автоматизированная система создания интерактивных средств обучения в образовательном процессе // Открытое образование. – 2012. – № 2. – С. 18–20.
- [27] Абрамов В.Д., Абрамский М.М., Кугуракова В.В. и др. Визуальный редактор сценариев для виртуальных лабораторий // Электронные библиотеки. – 2016. – Т. 19. – № 6. – С. 483–501. URL: <https://elbib.ru/article/view/409> (доступ свободный, дата 2020.05.05)

- [28] Patow G. (2012). User-Friendly Graph Editing for Procedural Modeling of Buildings. IEEE // Computer Graphics and Applications. – No 32. – pp. 66–75.
- [29] Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Применение средств виртуальной реальности при создании комплексных тренажеров и систем управления // Труды 9-й международной конференции Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM–2009). / Под ред. Е.И. Артамонова. – М.: Издательство: Институт проблем управления РАН, 2009. – С. 37–42.
- [30] Mourant R., Marangos S.-K. A Virtual Environments Editor for Driving Scenes. // Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2003. – Vol. 1. – No 6. – pp. 34–39.
- [31] Sanchez A., Barreiro J.M., Maojo V. (2000). Design of Virtual Reality Systems for Education: A Cognitive Approach. // Education and Information Technologies. No 5. – pp. 345–362. <https://doi.org/10.1023/A:1012061809603>.
- [32] Подход к моделированию нештатных ситуаций с использованием виртуального тренажера для обучения персонала / Мишенков Е.А., Малышев А.А., Кулагин А.В., Сагун Д.Ю. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – № 4(16). – С. 99–110.
- [33] Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Система дистанционного обучения по робототехнике и мехатронике на базе современных информационных технологий // Educational Образовательные технологии и общество 2004. [Technology & Society] Том 7. – № 3. – С. 196–209.
- [34] Шукшунов В.Е., Янюшкин В.В. Концептуальные основы разработки и создания учебно-тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения // Программные продукты и системы. – 2015. – № 4. – С. 5–15.
- [35] Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов / Бурдин Б.В., Михайлюк М.В., Сохин И.Г., Торгашев М.А. // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1. – С. 42–46.
- [36] Михайлюк М.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Разработка бортового виртуального симулятора для формирования и поддержания готовности экипажа на лунной станции к аварийному реагированию на потенциально опасные ситуации. // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018). – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. – С. 688–697.
- [37] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система «GLVIEW» визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности // Вестник Российской академии естественных наук. – 2011. – № 2. – С. 20–28.
- [38] Грибова В.В., Федорищев Л.А. Программный комплекс для разработки виртуальных сред на облачной платформе // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2017. – № 6. – С. 41–49.
- [39] Грибова В.В., Федорищев Л.А. Программный комплекс для разработки облачных виртуальных сред // Программные продукты и системы. – 2015. – № 2. – С. 60–64.
- [40] Горбаченко И.М., Лопатеева О.Н. Моделирование процесса обучения с использованием раскрашенных сетей Петри // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 1(4). – С. 10–20.
- [41] Сочнев А.Н. Визуализация процессов сетями Петри // Сборник материалов конференции «Актуальные проблемы управления и экономики». – Красноярск, 2016. – С. 293–297.

REFERENCES

- [1] Krikalev S.K. The Becoming and Development of the National Cosmonaut Selection and Training System // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – 2011. – No 1(1). – pp. 5–18.
- [2] Cosmonaut Selection: Experience and Forecasts / Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M., Kuritsyn A.A., Usov V.M. // *Aerospace Sphere journal*. – 2018. – No 2(95). – pp. 97–108.
- [3] Historical Aspects of the Development of the Cosmonaut Selection System / Kuritsyn A.A., Kryuchkov B.I., Malenchenko Yu.I. // S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology RAS. Annual Scientific Conference (2018). – Moscow: Yanus-K, 2018.
- [4] Selection of Cosmonaut Candidates-2017 [Electronic source] // Yu.A. Gagarin Research&Test CTC. URL: [http:// www.gctc.ru/main.php?id=3736](http://www.gctc.ru/main.php?id=3736) (access date: 20.04.2018).
- [5] Vorona A.A., Gander D.V., Ponomarenko V.A. Theory and Practice of Psychological Support of Flight Activity (under general editorship of V.A. Ponomarenko). – Moscow: Voenizdat, 2003. – p. 280.
- [6] Sergeev S.F. Ergonomic Issues of Interface Design Based on Induced Virtual Environments // *Mir Avioniki*. – 2006. – No 3. – pp. 62–67.
- [7] Sergeev S.F. Introduction to Engineering Psychology and Ergonomics of Immersive Environments: teaching medium. – St.-Petersburg: ITMO University, 2011. – p. 258.
- [8] Liksina E.V., Bershadsкая E.G. Automation of the process of developing virtual laboratories. *Scientific Review // Pedagogical Science*. 2019. No 3–2. pp. 28–30; [Electronic source]. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1949> (access date: 14.04.2020).
- [9] Filatova N.N., Vavilova N.I. Designing Multimedia Simulators Based on Knowledge Representation Models // *Educational Technology and Society*. 2000. Vol. 3. No 4. pp. 193–202. [Electronic source]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-multimedia-trenazherov-na-osnove-stsenarnyh-modeley-predstavleniya-znaniy> (access date: 14.04.2020).
- [10] Infrastructure for Virtual Laboratory-Based Practicals of Interdisciplinary Educational Programs Within the Framework of Cloud Computing Concept / Bolgova V.V., Bogacheva A.V., Dukhanov A.V., Knyazkov K.V., Bukhanovsky A.V. // *Modern Problems of Science and Education*. – 2012. – No 5. – p. 92.
- [11] Kovalev G.I., Karaush S.A. Variety of Learning Materials for Distance Laboratory Workshop // *Open and Distance Education*. – 2015. – No 3(59). – pp. 10–15.
- [12] Yudina L.V., Bershadsкая E.G. The Use of Augmented Reality Technologies in Software Engineering // *European Student Scientific Journal*. – 2016. – No 3–1. – pp. 95–96.
- [13] Trukhin A.V. The Analysis of Computer Training Systems Developed in Russian Federation // *Open and Distance Education*. – 2008. – No 1. – pp. 32–39.
- [14] Trukhin A.V. Using Virtual Laboratories in Education // *Open and Distance Education*. – 2002. – No 4(8). – pp. 81–82.
- [15] Problems of Professional Training of Forest Machine Drivers / Kurasov P.A., Glazyrin A.E., Tanryverdiev I.O., Taran A.V., Petukhov I.V. // *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. – 2018. – No 3(39). – pp. 50–59.
- [16] Senchuk D.V. Prospects for the Development of Scenarios for Virtual Simulators // *Proceedings of the XIII All-Russian Meeting on Management Problems (VSPU-2019)*. Moscow, June 17–20, 2019. – pp. 311–314.

- [17] VR Technology: Methodological Aspects, Achievements And Prospects / Zinchenko Yu.P., Menshikova G.Ya., Bayakovskiy Yu.M., Chernorizov A.M., Voiskunsky A.E. // National Psychological Journal (Natsionalny Psikhologichesky Zhurnal). – 2010. – No 2(4). – pp. 64–71.
- [18] Kotsilieris T., Dimopoulou N. The Evolution of eLearning in the Context of 3D Virtual Worlds // Electronic Journal of eLearning. 2013. V. 11. Issue 2. p. 147.
- [19] Development of Cognitive Skills Using Virtual Reality Technology/ Averin V.A., Malikova T.V., Kirillov D.S., Zemskikh F.V. // Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology and Pedagogics. – 2017. – V. 7. – Issue. 2. – pp. 154–168.
- [20] Kuzmina A.S. The Analysis of Current Foreign Researches of Person`s Experience in Virtual Reality // RUDN Journal of Ecology and Life Safety. – 2014. – No 2. – pp. 102–112.
- [21] Abdoli-Sejzi A. (2015). Augmented Reality and Virtual Learning Environment. // Journal of Applied Science Research (JASR). No 11. pp. 1–5.
- [22] Pillai J.S., Colin T.A. [et al.]. “Achieving Presence through Evoked Reality.” // Front. Psychol. (2013). DOI:10.3389/fpsyg.2013.00086. Corpus ID: 5097474.
- [23] Kholodnaya M.A. The Psychology of Intelligence. Research Paradox: Tutorial for Undergraduate and Graduate Education. – 3d issue, updated and revised. – Moscow: Yulrite Publishing House, 2019. – p. 334.
- [24] An Approach to Modeling Off-Nominal Situations Using a Virtual Simulator for Staff Training / Mishenkov E.A., Malyshev A.A., Kulagin A.V., Sagun D.Yu. // “Information and Mathematical Technologies in Science and Management”. 2019. – No 4(16). – pp. 99–110.
- [25] Spitsyn V.G., Tsoi Yu.R. Knowledge Representation in Information Systems: Tutorial. – Tomsk: TPU Publishing House, 2006. – p. 146.
- [26] Matlin A.O., Fomenkov S.A. An Automated System for Creating Interactive Teaching Aids in the Educational Process // Scientific and Practical Journal “Open Education”. – 2012. – No 2. – pp. 18–20.
- [27] Abramov V.D., Abramsky M.M., Kugurakova V.V. et al. Visual Editor of Scenarios for Virtual Laboratories // Russian Digital Libraries Journal (RDLJ). – 2016. – V. 19. – No 6. – pp. 483–501. URL: <https://elbib.ru/article/view/409> (free access, date 2020.05.05).
- [28] Patow G. (2012). User-Friendly Graph Editing for Procedural Modeling of Buildings. IEEE // Computer Graphics and Applications. – No 32. – pp. 66–75.
- [29] Borisov V.G., Danilova S.K., Chinakal V.O. The Use of Virtual Reality Tools for Creating Complex Simulators and Control Systems // Proceedings of the 9th International Conference of Design Systems, Production Planning and Management of Life Cycle Stages of an Industrial Product. (CAD/CAM/PDM–2009). / Edited by E.I. Artaminaeva. – Moscow: Publ.: Institute of Control Sciences of RAS, 2009. – pp. 37–42.
- [30] Mourant R., Marangos S.-K. A Virtual Environments Editor for Driving Scenes. // Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2003. – Vol. 1. – No 6. – pp. 34–39.
- [31] Sanchez A., Barreiro J.M., Maojo V. (2000). Design of Virtual Reality Systems for Education: A Cognitive Approach. // Education and Information Technologies. No 5. pp. 345–362. <https://doi.org/10.1023/A:1012061809603>.
- [32] Modeling Off-Nominal Situations Using a Virtual Simulator for Staff Training / Mishenkov E.A., Malyshev A.A., Kulagin A.V., Sagun D.Yu. // Information and Mathematical Technologies in Science and Management. – 2019. – No 4(16). – pp. 99–110.

- [33] Makarov I.M., Lokhin V.M., Manko S.V., Romanov M.P. E-learning System for Robotics and Mechatronics Based on Modern Information Technologies // *Educational Technology & Society* 2004. [Technology & Society] Vol. 7. No 3. – pp. 196–209.
- [34] Shukshunov V.E., Yanyushkin V.V. Conceptual Foundations for the Development and Creation of a New Generation Training and Simulating Complex // *International Research and Practice Journal Programmnye produkty I sistemy (Software&Systems)*. – 2015. – No 4. – pp. 5–15.
- [35] Using Virtual 3D Models for Experimental Development of On-Board Flight Operations Performed by Robotic Assistants / Burdin B.V., Mikhailuk M.V., Sokhin I.G., Torgashev M.A. // *Robotics and Technical Cybernetics*. – 2013. – No 1. – pp. 42–46.
- [36] Mikhailuk M.V., Kryuchkov B.I., Usov V.M. Development of an Onboard Virtual Simulator to Ensure the Crew’s Readiness for Emergency Response to Potentially Dangerous Situations at the Lunar Station. // *Proceedings of the Conference “Information technologies in management” (ITU-2018)*. – St. Petersburg: Concern TsNII “Electropribor”, 2018. – pp. 688–697.
- [37] Mikhailuk M.V., Torgashev M.A. “GLVIEW” Visualization System for Simulation Complexes and VR Systems // *Herald of Russian Academy of Natural Sciences*. – 2011. – No 2. – pp. 20–28.
- [38] Gribova V.V., Fedorishchev L.A. A Software Package for the Development of Virtual Media on a Cloud-Based Platform // *Bulletin of RAS. Theory and Control systems*. – No 6. – 2017. – pp. 41–49.
- [39] Gribova V.V., Fedorishchev L.A. A Software Package for the Development of Cloud Virtual Media // *International Research and Practice Journal Programmnye produkty I sistemy (Software&Systems)*. – 2015. – No 2. – pp. 60–64.
- [40] Gorbachenko I.M., Lopateeva O.N. Modeling the Learning Process Using Coloured Petri nets // *Learning resources and technologies*. – 2014. – No 1(4). – pp. 10–20.
- [41] Sochnev A.N. Visualization of Processes With Petri Nets // “Actual Problems of Management and Economics” Conference Information Package. – Krasnoyarsk, 2016. – pp. 293–297.